Relació entre la presència de l'alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman et Boudouresque i la tipologia del substrat a la Badia de Palma (Mallorca)

Immaculada GAMUNDÍ-BOYERAS, Jorge TERRADOS i Marta PÉREZ

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL DE LES BALEARS

Gamundí-Boyeras, I., Terrados, J. i Pérez, M. 2006. Relació entre la presència de l'alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman et Boudouresque i la tipologia del substrat a la Badia de Palma (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 49: 109-114. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

L'objectiu d'aquest treball és conèixer quin tipus de fons faciliten l'assentament de la macroalga invasora *Caulerpa racemosa*, a partir de dades recollides a la Badia de Palma (Mallorca) durant l'estiu 2005, per tal d'establir quines són les comunitats litorals més susceptibles de ser envaïdes per la macroalga invasora. Els resultats demostren que *Caulerpa racemosa* prefereix els fons rocosos infralitorals coberts de macroalgues i les zones on hi ha restes de praderes de *Posidonia oceanica* morta.
Paraules clau: *macroalgues invasores, Caulerpa racemosa, afinitat pel substrat.*

RELATIONSHIP BETWEEN THE PRESENCE OF THE INVASIVE MACROALGAE *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (SONDER) VERLAQUE, HUISMAN ET BOUDOURESQUE AND SUBSTRATE TYPOLOGY AT THE BAY OF PALMA (MALLORCA). The objective of this study was to identify what types of substrata facilitate the establishment and development of the invasive macroalgae *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* at shallow (<3 m) depths. Our results show that the establishment and development of this species in the Bay of Palma (Mallorca) is favored in rocky substrata covered by photophilic macroalgae and in dead *Posidonia oceanica* beds.
Keywords: *invasive macroalgae, Caulerpa racemosa, substrate affinity.*

Immaculada GAMUNDI-BOYERAS i Jorge TERRADOS, Institut Mediterrani d'Estudis Avançats, IMEDEA (CSIC-UIB), Miquel Marquès 21, 07190 Esporles, Mallorca, e-mail: immagamundi@hotmail.com, jorge.terrados@uib.es; Marta PÉREZ, Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona, Diagonal 645, 08028 Barcelona, e-mail:maperez@ub.edu

Recepció del manuscrit: 21-nov-06; revisió acceptada: 15-des-06.

Introducció

Caulerpa racemosa var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman et Bou-douresque (Verlaque *et al.*, 2003) és una de les espècies de macroalgues introduïdes en el Mar Mediterrani que mostra una gran capacitat de dispersió, doncs en menys de 15 anys ha estat capaç d'estendre's per aquest i fins i tot arribar a les Illes Canàries (Verlaque *et al.*, 2000; 2004).

C. racemosa var. *cylindracea* mostra taxes de creixement altes (fins a 2 cm dia^{-1}) durant l'estiu i a començaments de tardor i

és capaç d'augmentar en un ordre de magnitud la superfície colonitzada en un any (Piazzi i Cinelli, 1999, Piazzi *et al.,* 2001). A més a més, la colonització i desenvolupament de *C. racemosa* var *cylindracea* redueix la cobertura d'altres macroalgues i disminueix el nombre d'espècies i la diversitat algal en comunitats envaïdes (Piazzi *et al.,* 2001; Balata *et al.,* 2004). *C. racemosa* var. *cylindracea* és, per tant, una espècie invasora que suposa un elevat risc per a les comunitats bentòniques.

C. racemosa var. *cylindracea* fou localitzada per primera vegada a les Illes Balears en el any 1998 a la Badia de Palma. (Ballesteros *et al.,* 1999) i des de llavors s'ha estès pel Sud de l'illa de Mallorca, Cabrera i Eivissa i ocupa un ampli rang de profunditats, des de menys de 2 m a 50 m de profunditat (Ballesteros, 2004). Malgrat que les investigacions realitzades fins a l'actualitat suggereixen que les comunitats d'algues fotòfiles sobre substrat rocós i els rizomes de praderes mortes de l'angiosperma marina *Posidonia oceanica* (L.) Delile són les comunitats on *C. racemosa* var. *cylindracea* assoleix un major desenvolupament (Ballesteros *et al.,* 1999; Piazzi i Cinelli, 1999; Piazzi *et al.,* 2001), no s'ha realitzat cap avaluació quantitativa de la susceptibilitat que presenten els diferents tipus de fons a la invasió de *C. racemosa* var. *cylindracea*. El creixement de *C. racemosa* var. *cylindracea* en els marges de les praderes de *P. oceanica* és major que en aquelles zones on la densitat de feixos de l'angiosperma marina és alta (Ceccherelli *et al.,* 2000). Per altra banda, el desenvolupament de *C. racemosa* var. *cylindracea* en les comunitats d'algues fotòfiles sembla veure's afavorit per la presència d'espècies cespitoses i l'absència d'un estrat d'algues erectes (Ceccherelli *et al.,* 2002). L'avaluació de la capacitat d'assentament i desenvolupament en els diversos tipus de substrats presents en les comunitats bentòniques mediterrànies és essencial per entendre el procés d'invasió d'aquesta espècie i determinar el risc d'invasibilitat de cada comunitat. L'objectiu d'aquest estudi és avaluar si la macroalga invasora *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* s'estableix amb la mateixa freqüència en les diferents tipus de substrat presents en les comunitats bentòniques someres i, en cas contrari, identificar quins substrats són més favorables i desfavorables per al seu establiment i desenvolupament.

Material i mètodes

L'estudi es realitzà en quatre localitats de la Badia de Palma (Mallorca) on treballs previs (Ballesteros *et al.*, 1999) o les nostres pròpies observacions indicaven la presència de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caló de Son Caios (39°32'07.37" N, 02°42'32.07" E), Cala Blava (39°29'15.73" N, 02°44'08.14" E, Cala Portals Vells (39°28'19.11" N, 02°31'16.68" E), i Cala Comtessa (39°32'00.40" N, 02°35'22.88" E)) i durant el mes d'agost del 2005, època en què aquesta espècie assoleix el màxim desenvolupament vegetatiu (Piazzi i Cinelli, 1999). En cadascuna de les localitats es disposaren entre 4 i 8 transectes de forma aleatòria (segons la localitat) de 20 m de longitud per estimar la cobertura dels distints tipus de substrats presents i de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* en profunditats inferiors a 3 m. Les estimes de cobertura s'obtingueren col·locant 2 quadrats de 20 cm x 20 cm dividits en 25 subquadrats de 4 cm x 4 cm a intervals d'1 m al llarg de cada transecte i contant els subquadrats correspoponents a cada classe de substrat. Les tipologies de substrat considerats foren arena, grava, roca (coberta amb algues fotòfiles),

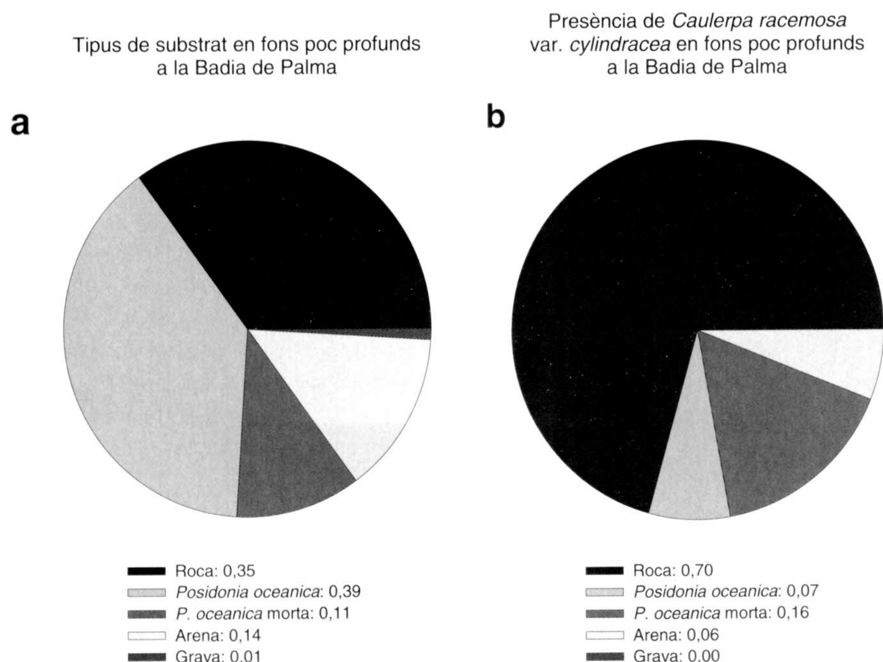


Fig. 1. a) Freqüències relatives de la presència de distintes classes de substrat (Roca; pradera de *Posidonia oceanica*, pradera morta de *P. oceanica*; Arena; Grava) en fons poc profunds a la Badia de Palma (Mallorca) i b) de la presència de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* en ells.
Fig. 1. *a) Relative frequencies of the presence of different substrate classes (Rock (roca),* Posidonia oceanica, P. oceanica *matte (*P. oceanica *morta), Sand (arena), and gravel (grava)) at shallow depths in the Bay of Palma (Mallorca) and of the presence of* Caulerpa racemosa *var.* cylindracea *in them.*

pradera de *Posidonia oceanica* i pradera morta (sense fulles) de *P. oceanica*, i en cada un d'ells s'estimà el percentatge ocupat per *C. racemosa* var. *cylindracea*. S'utilitzà un test de χ^2 (Martín Andrés i Luna del Castillo, 1989) per avaluar si *C. racemosa* var. *cylindracea* envaeix els distints tipus de substrat presents en cada localitat en la mateixa proporció. La hipòtesi nul·la per realitzar el test prediu que si tots els substrats presentessin la mateixa susceptibilitat a ser envaïts per *C. racemosa* var. *cylindracea*, la distribució de freqüències de la presència d'aquesta espècie en els distints substrat d'una localitat seria igual a la distribució de freqüències de la presència dels distints tipus de substrat.

Resultats

En total es realitzaren 24 transectes i s'avaluaren 38,3 m^2 de fons, dels quals 10 m^2 estaven colonitzats per *Caulerpa racemosa* var *cylindracea*, el que suposa una invasió de una mica mes del 25 %. Els resultats obtinguts en cada localitat eren semblats, fet pel qual s'integraren les dades de totes les localitats i s'analitzaren en conjunt. La superfície del fons estava composta per un 39 % de praderes de *Posidonia oceanica*, un 35 % de fons rocosos coberts d'algues fotòfiles , un 11 % de pradera morta de *P. oceanica*, un 14 % d'arena i un 1 % de grava (Fig. 1). La comparació de les distribucions de freqüències de les distintes classes de substrat en la

Badia de Palma i de la presència de *C. racemosa* var. *cylindracea* en ells mostren que aquesta espècie esta present en els substrats rocosos coberts amb algues fotòfiles i en la pradera morta de *Posidonia oceanica* en una proporció major que l'esperada en funció de la presència d'aquests substrats en la badia (Taula 1). Pel contrari, la presència de *C. racemosa* var. *cylindracea* en praderes de *P. oceanica*, arena i grava és menor a l'esperada en funció de la presència d'aquests substrats (Fig. 1, Taula 1).

Discussió

Els resultats obtinguts demostren que *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* no colonitza per igual tots els substrats poc profunds de la Badia de Palma durant l'estiu de 2005, sinó que el seu establiment es veu afavorit en les comunitats fotòfiles infralitorals de fons rocosos, principalment, i en la mata morta de *Posidonia oceanica*. Per altra banda, les praderes vives de *P. oceanica* dificulten molt l'assentament de la macroalga, i l'arena i la grava en menor grau. A partir de la contribució de cada classe de substrat a la diferència entre la distribució de freqüències de la presència dels diferents substrats i de la presència de *C. racemosa* var. *cylindracea* (Taula 1) es pot establir una ordenació dels substrats en funció de la facilitat que ofereixen a l'establiment i desenvolupament de *C. racemosa* var. *cylindracea*: roca amb algues fotòfiles > pradera morta de *Posidonia oceanica* > arena > grava > pradera de *P. oceanica*.

La pradera de Posidonia oceanica sembla constituir un hàbitat poc favorable per a l'establiment i desenvolupament de *C. racemosa* var. *cylindracea* Ceccherelli *et al.*, 2000) demostraren experimentalment que la mida de les frondes i la taxa d'elongació dels estolons disminueixen a mesura que augmenta la densitat de feixos de la pradera de *P. oceanica*. Aquests resultats suggereixen que la reducció de la disponibilitat de llum associada al dossel foliar de *P. oceanica* pot afectar negativament al desenvolupament vegetatiu de *C. racemosa* var. *cylindracea*. De fet, la pradera morta de *P. oceanica*, on no es produeix una disminució de la disponibilitat de llum degut a l'absència del dossel foliar de l'angiosperma, ofereix un substrat favorable a l'assentament i desenvolupament de *C. racemosa* var. *cylindracea* com indiquen els nostres resultats i les observacions d'altres investigadors (Ballesteros *et al.*, 1999; Piazzi i Cinelli, 1999, Piazzi *et al.*, 2001). *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* rarament ocupa les praderes de *P. oceanica* en bon estat, per contra s'expandeix ràpidament entre els rizomes morts de la fanerògama. És, per tant, fonamental preservar les praderes de aquesta angiosperma marina en bon estat, no només pel seu valor ecològic i econòmic (Salas *et al.*, 2006), sinó també per evitar l'acceleració de propagació de *C. racemosa* var. *cylindracea*. Els nostres resultats indiquen que els substrats no consolidats (arena, grava), mòbils i inestables, desfavoreixen la colonització de *C. racemosa* var. *cylindracea*, probablement perquè no li permeten arrelar-se fermament en el fons, sempre canviant. Així doncs, l'estabilitat del substrat i la manca de competència amb *P. oceanica* per la llum podrien explicar l'aparent dominància de la invasió de *C. racemosa* var. *cylindracea* en els fons rocosos coberts per macroalgues fotòfiles. No obstant, aquestes hipòtesis caldria verificar-les experimentalment.

Si es comparen els nostres resultats amb les probabilitats d'assentament de *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh en les diferents tipologies de substrat que proporcionen Hill

Subquadrats amb *C. racemosa* var *cylindracea*	Roca	*Posidonia oceanica*	*P. oceanica* morta	Arena	Grava	
Observats	4375	467	1027	363	0	
Esperats	2209	2405	663	882	74	
χ_i^2	2125	1562	200	305	74	χ^2= 4266 >>> χ^2= 18,467

Taula 1. Test $\chi 2$ per avaluar la diferència entre la distribució de freqüències de la presència dels diferents substrats a zones poc profundes a la Badia de Palma (Mallorca) la distribució de freqüències de la presència de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* en ells.
Table 1. *$\chi 2$ test to evaluate the difference between the distribution of frequencies of the presence of different substrata at shallow depths in the Bay of Palma (Mallorca) and the distribution of frequencies of the presence of* Caulerpa racemosa *var.* cylindracea *in them.*

et al. (1998) es pot veure que els substrats rocosos coberts d'algues fotòfiles i les praderes mortes de *P. oceanica* constitueixen uns hàbitats molt favorables per a l'establiment i desenvolupament d'ambdues espècies de macroalgues invasores.

Les preferències observades de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* a l'hora de colonitzar nous espais podrien servir de base per elaborar un mapa de zones de risc de la invasió d'aquesta espècie segons la vulnerabilitat de les diferents comunitats, eina que podria ser molt útil per a la gestió de la zona litoral.

Agraïments

Aquest estudi ha estat finançat pel Plan Nacional de I+D+I (2000-2003) del Ministerio de Ciencia y Tecnología, projecte REN2002-00701/MAR, i forma part del projecte de fi de carrera de la Llicenciatura de Ciències Ambientals de n'Imma Gamundí. Agraim l'ajuda de V. Riera i S. Martínez Llobet en la realització dels mostrejos.

Bibliografia

Balata, D., Piazzi, L. i Cinelli, F. 2004. A comparison among assemblages in areas invaded by *Caulerpa taxifolia* and *C. racemosa* on a subtidal Mediterranean Rocky Bottom. P. S. Z. N. I. *Marine Ecology,* 25: 1-13.

Ballesteros, E., Grau, A. M. i Riera, F. 1999 *Caulerpa racemosa* a Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 63-68.

Ballesteros, E. 2004. Espècies marines invasores: un problema ambiental emergent a les Illes Balears. *In*: Pons, G.X. (Edit.). *IV Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències i resums.* 13-15. Soc. Hist. Nat. Balears. Palma de Mallorca.

Ceccherelli, G., Piazzi, L. i Cinelli, F. 2000 Response of the non-indigenous *Caulerpa racemosa* to the native seagrass *Posidonia oceanica*: effect of density shoots and orientations of edges of meadows. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 243: 227-240.

Ceccherelli, G. i Campo, D. 2002. Different effects of *Caulerpa racemosa* on two-occurring seagrasses in the Mediterranean. *Botanica Marina*, 45: 71-76

Hill, D., Coquillard, P., de Vaugelas, J. i Meinesz, A. 1998. An algorithmic model for invasive species: Application to *Caulerpa taxifolia* development in the North-Western Mediterranean sea. *Ecological Modelling,* 109: 251-265.

Martín Andrés, A., Luna del Castillo, J. D. 1989. *Bioestadística para las Ciencias de la*

Salud. Ediciones Norma S.A., Las Rozas, Madrid, 614 p.

Piazzi, L., Cinelli, F. 1999. Développement et dynamique saisonnière d'un peuplement méditerranéen de l'algue tropicale *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh. *Cryptogamie, Algologie*, 20: 295-300.

Piazzi, L., Ceccherelli, G. i Cinelli, F. 2001. Threat to macroalgal diversity: effects of the introduced green algae *Caulerpa racemosa* in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 210: 149-159.

Salas, F., Marcos, C., Neto, J.M., Patrício, J., Pérez-Ruzafa, A. i Marques, J.C. 2006. User-friendly guide for using benthic ecological indicators in coastal and marine quality assessment. *Ocean & Coastal Management*, 49: 308-331.

Verlaque, M., Boudouresque, C. F., Meinesz, A. i Gravez,V. 2000. The *Caulerpa racemosa* complex (Caulerpales, Ulvophyceae) in the Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, 43: 49-68.

Verlaque, M., Durand, C., Huisman, J. M., Boudouresque, C. F. i Le Parco,Y. 2003. On the identity and origin of the Mediterranean invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta). *European Journal of Phycology*, 38: 325-339.

Verlaque, M., Afonso-Carrillo, J., Gil-Rodríguez, M. C., Durand, C., Boudouresque, C. F. i Le Parco,Y. 2004. Blitzkrieg in a marine invasion: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Bryopsidales, Chlorophyta) reaches the Canary Islands (north-east Atlantic). *Biological Invasions*, 6: 269-281.